

# **SOCIOLOGIA COMPUTACIONAL: PANORAMA COLOMBIANO**

**Santiago Olarte Zapata**

## **TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO DE SISTEMAS Y COMPUTACION**

**Director:**

**MAURICIO ALEXANDER ALVAREZ**

**Universidad Tecnológica de Pereira**

**Facultad de Ingenierías**

**Ingeniería de sistemas y computación**

**Pereira**

**2016**

## Contenido

1. INTRODUCCION .....	3
2. GENERALIDADES .....	5
a. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	5
b. OBJETIVOS .....	5
c. ALCANCE.....	6
3. MARCOS DE REFERENCIA .....	7
a. MARCO TEORICO.....	7
b. MARCO CONCEPTUAL.....	8
4. EVOLUCION DE LA SOCIOLOGIA COMPUTACIONAL.....	21
5. ESTADO DEL ARTE EN COLOMBIA.....	37
a. DISEÑO DE UNA SOCIEDAD ARTIFICIAL PARA ESTUDIAR LA MIGRACION FORZADA POR CONFLICTO ARMADO INTERNO EN EL SUROCCIDENTE COLOMBIANO .....	37
b. DISEÑO DE UN MODELO BASADO EN AGENTES PARA ESTUDIAR EL IMPACTO DE LA COHESION SOCIAL Y LA VICTIMIZACIÓN EN EL COMPORTAMIENTO DE UN CRIMINAL.....	38
c. MSIN: MODELO DE SIMULACION SOCIAL BASADA EN AGENTES .....	40
d. EVALUACIÓN DINÁMICA DEL EFECTO DE LAS PANDILLAS EN LA PERCEPCIÓN DE SEGURIDAD DE UNA CIUDAD .....	43
e. MICROSIMULACIONES PARA EL ESTUDIO DE FLUJOS PEATONALES.....	44
6. OBSERVACIONES FINALES.....	46
7. BIBLIOGRAFIA .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Absalón, C., & M, U. C. (2012). Modelos de microsimulación para el análisis de las políticas públicas. <i>Gestión y política publica</i> , 87-106. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## **1. INTRODUCCION**

La sociología y demás ciencias sociales se vienen valiendo desde hace alrededor 40 años, de métodos computacionales para analizar y modelar fenómenos sociales, dado que pueden ayudar a comprender de qué manera y la razón por la cual sucede un fenómeno social. La sociología computacional se vale de la simulación para generar mundos sociales artificiales con la capacidad de producir resultados similares a los del mundo real (Lozares, 2004). Es de resaltar el potencial del que dispone la sociología computacional para explorar la coherencia y consistencia de las teorías sociales y asimismo generar nuevas alternativas para el estudio de fenómenos sociales

El origen de la sociología computacional se ubica a finales de los años 60 y principios de los 70, tiempo en el que se hacía uso de ecuaciones diferenciales para predecir comportamientos poblacionales en función de otros factores sociales. El presente documento comienza realizando un breve recuento sobre los principales hechos que permitieron el desarrollo y perfeccionamiento de modelos computacionales para llevar a cabo estudios sociales, partiendo del momento en que se utilizaron modelos basados en Ecuaciones diferenciales para trazar el comportamiento de una variable a lo largo del tiempo a principios de los años 70, para luego realizar microsimulaciones con las que se pueden realizar predicciones a nivel individual pero no a nivel poblacional. Dicho enfoque no permite interacción entre individuos o la explicación de los fenómenos, en la medida que sólo permite evaluar las consecuencias de realizar un cambio en el entorno que se está simulando. Por tal motivo, surgen dos metodologías para atacar estas deficiencias en los métodos de aquella época: Los autómatas celulares y los modelos basados en agentes. A finales de los años 70 y principios de los 80, físicos y matemáticos intentaban modelar y analizar unidades simples, como átomos, y la forma en que daban lugar a propiedades globales, lo que dio lugar a los autómatas celulares que son modelos matemáticos para analizar un sistema dinámico con variables discretas. Surgieron también los modelos basados en agentes que difieren con respecto a los autómatas celulares en cuatro conceptos clave: Autonomía, interdependencia, regidos por reglas simples y comportamiento adaptable, lo que posteriormente dio

lugar, hacia los años 90, a los modelos basados en sistemas multiagente que permitió la interacción de un conjunto de agentes inteligentes en ambientes cooperativos.

Luego de haber explorado el panorama histórico de la sociología computacional, se enumerarán los adelantos más destacables en el desarrollo de estos métodos aplicados a las ciencias sociales para la resolución de problemáticas sociales, se explorará el panorama nacional en lo que a estudios sociales a través de métodos computacionales respecta, enumerando, finalmente, los trabajos y metodologías computacionales más recientemente usadas para el estudio de fenómenos sociales en el territorio colombiano.

## **2. GENERALIDADES**

### **a. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La simulación social o sociología computacional es una rama por la que han optado muchos científicos sociales, para realizar estudios y predicciones sobre distribuciones de población. En algunos países se ha aplicado en aras de comprender las características del ámbito social de una determinada población. En otros casos se ha aplicado para la predicción de las características de una población o también para simular la experiencia de un experto en cierta área de conocimiento, en el caso de los sistemas expertos. En muchos casos es difícil identificar la herramienta computacional adecuada para cada uno de los casos anteriormente descritos y por lo tanto se hace necesario partir de la experiencia de otros científicos sociales para llevar a cabo los estudios y lograr resultados de forma rápida y que a su vez sean confiables. La situación social en Colombia, ha sido marcada por múltiples circunstancias y eventos históricos que la hacen un campo de estudio complejo en términos de la cantidad de variables que se deben tener en consideración para estudiar un solo fenómeno social. Aspectos como la violencia, nivel de educación, empleo y salud tienen un gran efecto en la condición social de las comunidades en el país y estas a su vez son impactadas por factores económicos políticos y sociales. De ahí la necesidad de contar con soluciones desde el campo de la computación, campo que ha sido poco explotado por las ciencias sociales en Colombia.

### **b. OBJETIVOS**

#### **Objetivo general**

Proporcionar un panorama sobre los desarrollos más recientes en el campo de la sociología computacional aplicados a problemáticas sociales a nivel internacional y en el territorio Colombiano.

### **Objetivos específicos**

- Realizar una revisión de los hechos y metodologías que antecedieron a la rama de la sociología hoy conocida como Sociología computacional.
- Profundizar en el estado del arte de la sociología computacional en el ámbito nacional y destacar logros más importantes en ésta disciplina.
- Proporcionar alternativas en las cuales la simulación social podría ser ampliamente utilizada en las ciencias sociales en el territorio nacional y que en la actualidad no han sido explotadas.
- Identificar los desarrollos más remarcables que dieron origen a cada una de las metodologías, así como los más recientes en la sociología computacional en el ámbito internacional en contraste con el nacional
- Describir las principales metodologías más ampliamente utilizadas en el ámbito de la sociología computacional.

### **c. ALCANCE**

Este trabajo de grado realizará una descripción de los principales enfoques utilizados para la sociología computacional, enumera los últimos avances desarrollados en cada uno de ellos y una breve comparación entre ellos y finalmente proporciona el estado del arte de la sociología computacional en Colombia.

### **3. MARCOS DE REFERENCIA**

#### **a. MARCO TEORICO**

##### **Sociología**

La sociología es una ciencia social que se dedica al estudio de los fenómenos de grupos de individuos producto de la interacción entre ellos, estos afectados a su vez por aspectos culturales e históricos.

La aplicación de técnicas de investigación y conceptos dan lugar a métodos sociológicos que se enmarcan en dos grandes grupos: Cualitativos y cuantitativos. Los métodos cualitativos tienen como objetivo establecer por qué y la manera en que sucede un fenómeno social. Esta metodología utiliza herramientas como la observación y observación participante que permite la recolección de información relevante para la investigación que se está llevando a cabo, así como para establecer relaciones con otros fenómenos sociales. Por otro lado, los resultados de métodos cuantitativos asignan valores numéricos a las observaciones con el fin de realizar estudios estadísticos, esto requiere que el problema observado obedezca un modelo numérico y sus variables sean discretas. (Ritzer, 1997)

En los estudios sociales, la observación y los modelos numéricos se quedan cortos para describir un fenómeno social dada su complejidad, en la medida en la que se deben tener en cuenta un gran número de variables o el estudio requiere un tiempo prolongado de observaciones para que arroje resultados concluyentes. Por esta razón surge una alternativa y en general un enfoque de la sociología: La sociología computacional o simulación social, un medio para modelar los procesos sociales y un instrumento para la investigación social. (Lozares, 2004)

##### **Sociología computacional**

La sociología computacional se vale de herramientas computacionales para llevar a cabo estudios de fenómenos sociales. Simulaciones por computador contribuyen a la construcción y validación de modelos sociales. Nigel Gilbert, director del centro de

investigación en simulación social de la universidad de Surrey en el Reino Unido, afirma que los modelos computacionales aplicados a las ciencias sociales, permiten ilustrar un fenómeno social desde dos enfoques: patrones de comportamiento que emergen de las interacciones de los individuos y la forma en que los patrones de comportamiento afectan la forma en que los individuos actúan. Además, permiten formalizar de forma precisa las teorías sociológicas. (Gilbert & Troitzsch, 2005)

## **Simulación**

Luego de haberse realizado la observación del fenómeno social, se genera un modelo de simulación. Este se expresa en un lenguaje de programa y se generan valores que reflejan el estado del entorno simulado, como resultado de la ejecución de dicho programa. Se debe evaluar cuán adecuado es el modelo para representar el fenómeno a partir de las observaciones realizadas para llevar a cabo las modificaciones pertinentes. La ventaja más destacable que presenta un modelo de simulación sobre un modelo matemático, por ejemplo, es su similitud con la realidad del fenómeno que se está simulando, lo que no sería posible a través de expresiones matemáticas dada su simplicidad y rigidez. Los científicos sociales se valen entonces de la sociología computacional a través de modelos de simulación para llevar a cabo estudios teniendo en consideración sus resultados positivos en la investigación de sociedades y el amplio conocimiento que es requerido para el desarrollo de este tipo de modelos. (Gilbert & Troitzsch, 2005)

## **b. MARCO CONCEPTUAL**

### **Complejidad social**

El concepto de complejidad social tiene que ver con cómo la sociedad, hoy día puede diferenciarse y segmentarse en un gran número de subsistemas y cada uno de ellos con cada vez más autonomía dado el aumento de las posibilidades de acción de cada uno de ellos. (Richeri, s.f.)



## **Influencia social**

La influencia social se define como un proceso psicológico social en el cual un individuo pretende tener influencia sobre los comportamientos y pensamientos de otros. Este proceso incluye la persuasión (Capacidad para convencer), conformidad social (Cambio de comportamiento para encajar con las opiniones del grupo), obediencia social (Modificación de conducta para someterse a las normas de una autoridad) y aceptación social (Modificación de conducta que obliga al individuo a actuar de acuerdo a los socialmente aprobado). (Pallares Danti, 2012)

## **Emergencia**

Proceso mediante el cual aparecen estructuras complejas que no estaban contempladas en la concepción de un fenómeno y surgen a partir de reglas simples. Métodos computacionales como los algoritmos bioinspirados, autómatas celulares y metodologías orientadas a agentes han permitido representar a través de soluciones computacionales estos comportamientos no definidos inicialmente en su diseño.

## **Agente**

Un agente inteligente se define como una entidad autónoma que tiene la capacidad de evaluar el entorno que lo rodea, reaccionar sobre este y dirigir sus acciones hacia el cumplimiento de metas establecidas.

Los agentes tienen varias características, entre las que destacan las siguientes: (Parker, y otros, 2003)

- Son entidades identificables y autocontenidas, con un conjunto de características y reglas que gobiernan su comportamiento y capacidad de toma de decisiones.

- Son autónomos. Los agentes deciden independientemente sus acciones teniendo en cuenta los objetivos que persiguen y el conocimiento que tienen en cada momento.
- Tienen capacidad de adaptar su comportamiento a las circunstancias, basándose en su experiencia, lo que requiere la implementación de alguna forma de memoria.
- Tienen una serie de rasgos que les sirven para reconocer y distinguir a otros agentes. Esto permite que los agentes tengan la capacidad de interactuar de forma distinta de acuerdo al tipo de agente, categorizado por sus rasgos o afinidades.

### **Sistema complejo**

Un sistema complejo se compone de varias partes interconectadas o incluso sistemas, sobre las cuales se tiene conocimiento sobre su funcionamiento. La característica de los sistemas complejos es que poseen las denominadas propiedades emergentes que se dan a partir de las interacciones entre dichas partes pero, que no pueden ser explicadas cuando se toma de forma aislada cada uno de sus elementos constituyentes. (Antequera, 2004)

Los sistemas complejos están formados por un conjunto de componentes individuales que interactúan entre sí. Tienen la capacidad de modificar sus estados internos como resultado de dichas interacciones. Entre las propiedades de los sistemas complejos cabe destacar: La inexistencia de escalas, que implica que el fenómeno objeto de estudio es válido en todas las escalas del sistema sin perder sus propiedades características; la propiedad emergente consiste en el surgimiento de nuevas entidades (Miramontes & al., 1999)

### **Modelo**

Un modelo es una representación atribuida a un sistema real o formal que se puede expresar no solo en términos del lenguaje natural, maquetas o gráficos, sino también en términos matemáticos y computacionales. Un modelo matemático se define como una forma matemática de expresar proposiciones a través de variables, parámetros, entidades y las relaciones entre ellos.

Los roles principales que juega un modelo en un estudio social van desde formalizar matemáticamente teorías sociales fundamentadas axiomáticamente hasta perfeccionar modelos existentes (Lozares, 2004). Cabe destacar los siguientes tipos de modelos según el papel que juega en la investigación: exploratorios o heurísticos, que permiten generación conceptual, es decir, nuevas teorías sociales que posteriormente podrán ser formalizadas; predictivos, que permiten conocer estados posteriores, no observados o futuros del sistema; descriptivos y explicativos que permiten la aclaración de los procesos y mecanismos que hacen parte del fenómeno social.

### **Modelo BDI (Beliefs, Desires and Intentions)**

El modelo BDI (Deseos, creencias e intenciones) es una herramienta computacional desarrollada para la programación de agentes inteligentes, a partir de los estudios en el modelo cognitivo del ser humano, que evalúa el compromiso del agente con sus metas y la viabilidad de las acciones contrastando sus recursos y capacidades disponibles con las necesarias para la toma de la decisión. Los principales conceptos del modelo BDI son las creencias deseos e intenciones (Georgeff, Pell, Pollack, Tambe, & Wooldridge, 2003):

- **Creencias:** Conocimiento o memoria interna que cada individuo tiene sobre el ambiente (incluyéndose a sí mismo y los demás agentes). Las características del ambiente son actualizadas, a su vez, por medio de la interacción de los individuos con el mismo. Las creencias consisten además de las capacidades del agente y el modelo de causalidad de su actuar. También proporcionan información sobre el estado interno del agente, los recursos con los que cuenta y con quién o qué interactúa.
- **Deseos:** Metas que el individuo desea alcanzar. Describen decisiones alternativas que no están materializadas, son metas a cumplir que impone el contexto. La mejor decisión estará orientada hacia la meta general del sistema y ésta se convertirá en la intención actual del agente.

- **Intenciones:** Meta más importante, que se desea alcanzar en primer lugar. Las intenciones son la proyección de los deseos a futuro, orientados finalmente a la acción y guían el cumplimiento de los objetivos del agente.

### **Arquitectura PECS (Physis, Emotion, Congnition, Social Status)**

PECS (Entorno Físico, Emociones, conocimiento, estatus social) es una de las arquitecturas más utilizadas para el modelado de características que están presentes en el momento de una toma de decisiones. Esta arquitectura puede dividirse en tres capas que se desglosan a continuación: (Urban & Schmidt, 2001)

La capa de entrada compuesta por:

- **Sensor:** Encargado de captar las variables que se encuentran en el exterior del agente, a través de dos procesos de sensado: Visual; proporciona información sobre el lugar que el agente habita; y audible, que proporciona información sobre el entorno social del agente.
- **Percepción:** Encargado de realizar el filtrado de la información recolectada por el sensor, igualmente de distribuirla dentro del sistema social y cognitivo de forma bidireccional.

La capa interna compuesta por los componentes:

- **Físico:** Es responsable de modelar las propiedades físicas o materiales de los agentes.
- **Emocional:** Representa los estados emocionales de los agentes.
- **Conocimiento:** Modela la base de conocimiento del agente y almacena las representaciones mentales de su entorno. Este componente también puede

modelar procesos de aprendizaje para que el comportamiento del agente se adapte a diferentes contextos.

- Estatus social: Describe las propiedades sociales del agente, por ejemplo, roles y funciones dentro de un grupo.

Y finalmente, la capa de salida, engloba los componentes Comportamiento y actuador. Allí, se calcula el comportamiento del agente y se ejecutan sus acciones.

### **Dinámica de sistemas**

El enfoque de dinámica de sistemas busca describir un sistema, sus propiedades y dinámica en términos de ecuaciones diferenciales que determinan los estados futuros del sistema basado en el estado actual. La dinámica de sistemas se restringe al nivel macro en la medida que modela una parte de la realidad como un todo, cuyas propiedades son descritas en términos de nivel y rango, representando el estado de todo el sistema y sus cambios respectivamente (Gilbert & Troitzsch, 2005). De forma muy general, el enfoque de dinámica de sistemas consiste en dividir la población en diferentes grupos basándose en sus propiedades físicas, funciones dentro del sistema o alguna otra característica relevante.

### **Microsimulación**

La microsimulación es un concepto que describe el modelamiento de sistemas que consiste en microunidades que interactúan entre sí, por ejemplo en una microsimulación social las microunidades del modelo que interactúan son personas con sus

correspondientes características (Sutherland, 2012), como consecuencia de ser un modelamiento la microsimulación es abstracta y busca como todo modelo reducir la complejidad aislando características de un fenómeno que se desea observar (Canadá, 2015).

La microsimulación permite entender el comportamiento de los fenómenos del mundo real como un sistema haciendo uso de datos estadísticos modelados con unidades generalizadas de las cuales se usa especialmente las interacciones de estas últimas, lo que permite la predicción del sistema, esto difiere de otros tipos de simulación como el multi agente que no se basa en interacciones propiamente si no que en su lugar hace el modelamiento a través del comportamiento de cada agente como un individuo, el cual aprende y evoluciona y que en términos generales busca responder ante los cambios de los individuos.

### **Autómatas celulares**

Hacia 1947, los autómatas celulares aparecen por primera vez, más concretamente de la mano de Von Neumann y Stanislaw Ulam, dos expertos en física computacional con una fuerte relación de amistad tras las colaboraciones que realizaron durante el desarrollo del proyecto Manhattan (Proyecto científico para el desarrollo de la primera bomba atómica). El origen de la idea proviene de estudios que Von Neumann realizó sobre sistemas con componentes no confiables (es decir, computación que tolerase fallos) poco después de terminar el proyecto EDVAC<sup>1</sup>. Von Neumann comenzó estudiando el desarrollo de autómatas auto-reproductivos basándose en ecuaciones diferenciales parciales, pero desechó este método porque no fue capaz de encontrar reglas explícitas y claras para poder llevar a la práctica estos autómatas. Sin embargo, Arthur W. Burks confirma que Stanislaw Ulam sugirió a John Von Neumann el uso de componentes celulares para desarrollar sus autómatas auto-reproductivos, lo cual llevó a una solución del problema de Von Neumann. El estudio no fue concluido, debido a la prematura muerte del científico en 1957 (Lorenz, 1995).

Un autómatas celular se define como un modelo matemático que se caracteriza por tener una estructura espacial, es decir, un arreglo de células en la que cada una toma valores determinados previamente y donde la interacción es local, lo que significa que solo puede haber interacción entre células vecinas. Dicha interacción es modelada a través de reglas de transición local, de manera que estos conjuntos de células logran una evolución según una determinada expresión matemática, que es sensible a los valores de las células vecinas. Los cambios que las células experimentan se dan a periodos de tiempo discretos (Reyes, 2011).

Los elementos básicos de un autómatas celular son: (Reyes, 2011)

- **Arreglo Regular.** Ya sea un plano de 2 dimensiones o un espacio  $n$ -dimensional, este es el espacio de evoluciones, en la que cada división homogénea del arreglo es llamada célula.
- **Conjunto de Estados.** Es finito y cada elemento o célula del arreglo toma un valor de este conjunto de estados. También se denomina alfabeto. Puede ser expresado en valores o colores.
- **Configuración Inicial.** Consiste en asignar un estado a cada una de las células del espacio de evolución inicial del sistema.
- **Vecindades.** Define el conjunto contiguo de células y posición relativa respecto a cada una de ellas. A cada vecindad diferente corresponde un elemento del conjunto de estados.
- **Función Local.** Es la regla de evolución que determina el comportamiento del Autómatas celular. Se conforma a partir de una célula central y sus vecindades. Define como debe cambiar de estado cada célula dependiendo de los estados anteriores de sus vecindades. Puede ser una expresión algebraica o un grupo de ecuaciones.

Adicionalmente para poder entender mejor su representación visual, se requiere mencionar los tipos de límites o fronteras, del plano en el cual se desarrolla, en los cuales se clasifica: (Reyes, 2011)

- **Frontera Abierta.** Se considera que todas las células fuera del espacio del autómata toman un valor fijo.
- **Frontera Reflectora.** Las células fuera del espacio del autómata toman los valores que están dentro, como si se tratara de un espejo.
- **Frontera Periódica o Circular.** Las células que están en la frontera interaccionan con sus vecinos inmediatos y con las células que están en el extremo opuesto del arreglo, como si dobláramos el plano a manera de cilindro.
- **Sin Frontera.** La representación de autómata no tiene límites, es infinito. Esto solo es práctico cuando se cuenta con un software que simule la evolución del autómata.

### **Modelos basados en agentes**

La modelación basada en agentes es una técnica de modelación que complementa los métodos analíticos tradicionales. En los modelos basados en agentes (MBA), un sistema es modelado como una colección de entidades autónomas de toma de decisión llamadas agentes. Cada agente evalúa su situación y toma decisiones sobre la base de un conjunto de reglas de decisión. Los ABM tienen un enfoque “bottom-up”: esto significa que el modelador representa el comportamiento y las interacciones de los agentes individuales y objetos locales que componen el sistema y obtiene como resultado un patrón de comportamiento a nivel del sistema (Macal & North, 2008).

Un modelo basado en Agentes se compone de una colección de agentes, un ambiente a través del cual los agentes interactúan, y reglas que definen las relaciones entre agentes y su ambiente, que determinan la secuencia de acciones en



el modelo. Los agentes se definen como entidades físicas o virtuales que toman decisiones de manera autónoma. Pueden representar átomos, células, animales, gente u organizaciones dependiendo de su aplicación. El ambiente es el espacio virtual en el que interactúan los agentes. Los agentes tienen atributos propios, objetivos (maximizar, disminuir la magnitud de una característica) y capacidades sensoriales, es decir, tienen información sobre atributos y estado de otros agentes, así como del ambiente. Los agentes toman decisiones con base en las reglas y funciones analíticas descritas por el modelador; las decisiones se basan en la información que el agente tiene disponible (información propia, sobre otros agentes y sobre el ambiente). A través de sus decisiones los agentes reaccionan y se adaptan a situaciones o condiciones del ambiente (Macy & Willer, 2002).

Cuando un sistema combina interdependencia entre sus componentes y heterogeneidad de los mismos (sistema complejo) es difícil obtener soluciones analíticas través de agentes homogéneos (Heckbert, Baynes, & Reeson, 2010). Los modelos basados en agentes son apropiados para este tipo de situaciones, en la medida que las propiedades y dinámica a escala global de un sistema complejo son diferentes de las de la escala local e impredecibles basado el análisis de esas propiedades locales; este es el concepto de “emergencia” y los modelos basados en agentes permiten implementar este comportamiento para la articulación entre el nivel local y el nivel global de dicho sistema.

### **Sistemas multiagente**

Un agente por si sólo está en capacidad de realizar tareas simples. Para poder desarrollar tareas complejas, es necesario contar con un conjunto de agentes que puedan compartir su conocimiento, sus habilidades y sus características, de forma tal, que resuelvan problemas que individualmente no estarían en facultad de enfrentar. Por lo tanto, surge la necesidad de tener sistemas compuestos por múltiples agentes, los cuales se denominan Sistemas MultiAgente (SMA).

Los sistemas multiagente son conglomerados de formas más complejas de agentes. En este enfoque, las nociones de agente y sociedad artificial cobran gran importancia: Agente como programa de computador que representa y actúa basado en entidades del mundo real; desde objetos inanimados hasta personas. Las sociedades artificiales por su lado comprenden múltiples agentes basados en computador ubicados en un ambiente físico simulado (Doran, 1997). Los agentes conocen su propio estado y saben cómo se relacionan con otros, lo cual facilita el manejo de la información del sistema.

Para Ferber (Ferber, 1999), un SMA es un conjunto organizado de agentes que interactúan de forma cooperativa para lograr de manera colectiva un objetivo global. Un SMA está compuesto por los siguientes elementos:

- Ambiente: espacio real o virtual  $E$ , en el que perciben y actúan los agentes.
- Objetos: conjunto de entes pasivos y activos situados en  $E$ .
- Agentes: conjunto de entes activos  $A$ . Los agentes forman parte del conjunto de objetos.
- Relaciones entre los Objetos: conjunto de relaciones  $R$ , que vinculan a los objetos, y por lo tanto a los agentes entre sí.
- Operaciones: acciones mediante las cuales los agentes puedan percibir, producir, consumir, transformar y manipular objetos.
- Operadores: representan la aplicación de las operaciones y la reacción del mundo en los intentos de modificación por parte de los agentes.

Los agentes tienen una habilidad social que les permite comunicarse directamente con otros agentes. Ésta habilidad hace que entre ellos existan relaciones de interacción y cooperación. De esta forma las características que presentan los agentes de un sistema multiagente son principalmente:

- Visión local: Ningún agente tiene visión global del sistema; los agentes del sistema son heterogéneos cumpliendo diferentes funciones específicas en el sistema.
- Descentralizados: No existe un agente de control; agentes auto organizados
- Autónomos: Al menos parcialmente independientes, conscientes de sí mismos, capaces de tomar sus propias decisiones.

### **Aprendizaje de máquina**

Es importante que antes de definir el concepto de aprendizaje de máquina se defina el proceso de aprendizaje en el contexto humano como el proceso a través del cual se adquieren o modifican habilidades, destrezas, conocimientos, conductas o valores como resultado del estudio, la experiencia, la instrucción, el razonamiento y la observación. Cabe resaltar que el aprendizaje debe producirse a partir de la experiencia con el entorno y no se considera aprendizaje toda aquella habilidad o conocimiento que sean innatos en el individuo o que se adquieran como resultado del crecimiento natural de éste. Por lo tanto en el aprendizaje de máquina se considerará aprendizaje a aquello que la máquina pueda aprender a partir de la experiencia, no a partir del reconocimiento de patrones programados. (Sugiyama & Motoaki, 2012)

El aprendizaje de máquina fue en un principio definido por Arthur Samuel (1959, pionero en el campo de la inteligencia artificial) como “El campo de estudio que provee a las computadoras la habilidad de aprender sin ser explícitamente programadas”. Tom Mitchel (1998) define un problema de aprendizaje como: “Un programa de computadora se dice que aprende de la experiencia (E) respecto a una tarea (T) y una medida de rendimiento (P), si su rendimiento, realizando T, medido por P, mejora con experiencia E”

Los modelos de aprendizaje de máquina tienen la característica, en contraste con las demás metodologías anteriormente descritas, de que incorporan cambios en los parámetros a lo largo de la simulación. Nigel Gilbert en (Gilbert & Troitzsch, 2005) enumera dos de las metodologías, que según él, son las más ampliamente utilizadas en simulación social: Redes neuronales artificiales y modelos basados en programación evolutiva.

Las redes neuronales artificiales se basan en una simplificación del comportamiento de las neuronas en el cerebro. Estas son capaces de aprender que cuando le es presentado un estímulo, se debería obtener como salida una señal determinada.

Una red neuronal es una herramienta computacional que modela la interconexión de una neurona en el cerebro humano u otros seres vivos. Dicha interconexión consta de una capa de entrada, una o múltiples capas intermedias y una capa de salida. Cada neurona está conectada a otras a través de conexiones sinápticas. Dicha unión representada en forma de pesos en las redes neuronales artificiales. Esta técnica permite realizar una clasificación sobre un conjunto de datos que se le ha ingresado a la red, mediante la obtención, en la capa de salida, de otro conjunto de datos que permiten determinar una pertenencia o no a un grupo establecido. Para una correcta clasificación debe haber un proceso de aprendizaje previo que consiste en el ajuste de los pesos de las conexiones entre neuronas (Bishop, 1995).

#### **4. EVOLUCION DE LA SOCIOLOGIA COMPUTACIONAL**

A continuación se presenta una colección de trabajos que han contribuido en gran medida con la disciplina de la sociología computacional. Cada subsección describe, en primer lugar, el primer trabajo desarrollado en cada temática y finalmente los desarrollos más recientes.

##### **Dinámica de sistemas**

Los aspectos más destacables del enfoque de dinámica de sistemas son sin duda: los conceptos de ciclos de realimentación en términos de depósitos adyacentes y flujos, que se pueden representar a través de modelos matemáticos. Jay Wright Forrester, el fundador de este enfoque, resalta la importancia del punto de vista endógeno (interacción de componentes internos) para el estudio de fenómenos a través de la dinámica de sistemas. En 1968, este pionero en el desarrollo de la informática publicó el artículo “Market growth as influenced by capital investment” en el que explica la forma en la que el punto de vista endógeno, aunque poco aceptado por académicos, resulta una forma de análisis efectiva de sistemas complejos. Forrester demostró a través de un modelo, cómo el crecimiento de una empresa estaba siendo afectado por políticas internas, de la misma organización, ya que consideró un mercado ilimitado (sin límites en la fuerza de venta, capacidad de producción o la demanda de productos), es decir, excluyendo factores externos, para realizar el análisis. Pudo demostrar que, con estas condiciones, la capacidad de producción era reducida (Forrester, 1968)

En un trabajo posterior (Forrester, 1970), denominado “Urban dynamics”, Forrester desarrollo un modelo de dinámica de sistemas, hacia 1970, a través del cual se estudió la dinámica en la época de renovación urbana en Estados Unidos. Haciendo uso del mismo enfoque endógeno, se excluyeron los suburbios aledaños de la ciudad y las redes de transporte para analizar exclusivamente la dinámica urbana relativa al interior de la ciudad. Se logró demostrar, una vez más, que el crecimiento urbano, estancamiento o

decaimiento de las condiciones socio económicas en las ciudades no dependen de la dinámica fuera de las mismas.

Como parte de un proyecto de la universidad de Southampton, (Brailsford, Evandrou, Luff, & al, 2012), se desarrolló un modelo de dinámica de sistemas para el sistema de seguridad social en el Reino Unido. El modelo representa la población mayor a 65 años en un condado inglés típico y contiene un número de grupos que representan los diferentes estados en los que los individuos pueden encontrarse, correspondiente a su necesidad de seguridad social y como esta necesidad es suplida. La figura 1, representa los diferentes grupos establecidos para el modelo.

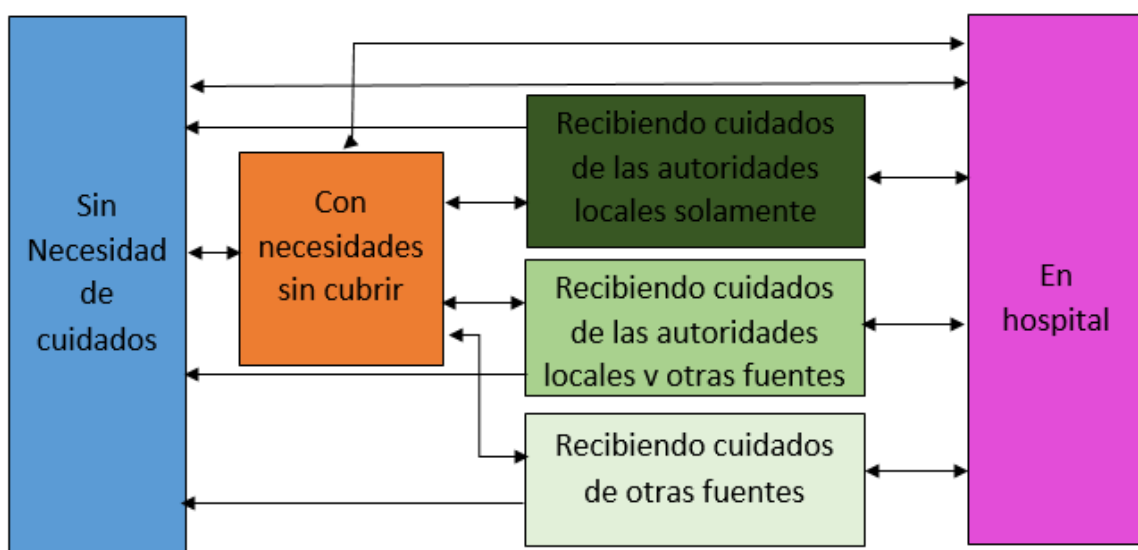


Figura 1: Diagrama de causalidad modelo de seguridad social.

La caja azul representa la población de más de 65 años que no requiere seguridad social. A través del tiempo, pueden desarrollar la necesidad de algún cuidado, moviéndose a la caja naranja y la necesidad puede ser suplida de tres formas:

- Sólo la autoridad local proporciona la atención
- Atención proporcionada por otros recursos (Familiares, amigos, entidades privadas)
- Una combinación de las dos anteriores.

Es posible que un individuo se mueva nuevamente al primer estado (Azul), por ejemplo, cuando su enfermedad es curada. Igualmente, que un individuo se mueva de los estados verdes y azules si es necesario el tratamiento de una enfermedad crónica a través del servicio nacional de salud. Es de aclarar que la responsabilidad de la seguridad social es de las entidades locales e incluye servicios como asistencia en el hogar de la persona, centros comunitarios y residencias para ancianos, mientras que los servicios de salud son prestados a través del servicio nacional de salud. La importancia de este modelo radica en la necesidad de los servicios de seguridad social para balancear las recientes restricciones presupuestables con la demanda de servicios resultante de movimientos demográficos y sociales.

El modelo permitió explorar el impacto de la variable denominada “Willingness and resources” (WR) que representa que tan propensas son las familias vecinos y amigos para proporcionar seguridad social. Se llevaron a cabo varios experimentos en los que se exploró el impacto de esta variable en el sistema de seguridad social. WR toma valores entre 0 y 1, donde 0 significa que la familia del individuo no está dispuesta a proporcionarle seguridad social por ningún motivo y 1 todo lo contrario. En experimentos anteriores se determinó que el valor base para la variable WR es 0.4.

El modelo se corrió por 300 meses y se analizó el número de individuos en cada estado anteriormente definidos. Se logró identificar que cuando WR estaba cerca de 0.4 el número de individuos en cada grupo se mantenía estable a lo largo de toda la simulación. Se mostró igualmente que el número de individuos pertenecientes al grupo atendido por las autoridades locales aumenta cuando WR se disminuye al igual que el grupo atendido tanto por autoridades locales como por otros recursos. Finalmente se demostró la gran carga que supondría para el sistema de seguridad social en el caso de que individuos dejaran de recibir apoyo por parte de familiares, amigos o vecinos, lo que tendría un efecto dramático en el presupuesto de la autoridad local.

Richardson (Richardson, 2011) destaca el punto de vista endógeno como punto de partida de la dinámica de sistemas y en general define el campo de dinámica de sistemas como el uso de modelos formales con simulación por computador para entender fuentes endógenas del comportamiento de un sistema.

### **Microsimulación**

Los modelos de microsimulación han permitido estimar los efectos probables de cambios en las políticas públicas de hogares e individuos en la medida que permiten capturar la heterogeneidad de los individuos de la población. Considerando que las consecuencias pueden ser diferentes de acuerdo a las condiciones de cada una, este enfoque resulta muy útil para obtener resultados representativos desde el punto de vista micro del estudio que se está llevando a cabo; en general, proporciona información sobre individuos y comunidades más pequeñas más que para un grupo de mayor número de individuos o desde un punto de vista global. (Absalón & M, 2012).

En el ámbito económico se han llevado a cabo proyectos como “Fiscal schemes For inclusive Development” que fue apoyado por las Naciones unidas y el Centro de investigación en desarrollo internacional de Canadá entre los años 2009 y 2011. Su objetivo fue contribuir para generar reformas fiscales y sociales más equitativas, eficientes y transparentes en Latinoamérica, profundizando en el impacto que eventuales reformas tributarias, en 5 países de Latinoamérica a través del desarrollo de modelos de microsimulación demográfica. El proyecto generó 5 modelos de microsimulación para 5 países en particular: Brasil, Chile, Guatemala, México y Uruguay. Finalmente, como resultado, se lograron establecer impactos en la distribución de ingresos, índices de inequidad de salarios y pobreza en cada uno de los países. Aunque no se consideran las diferencias en los impactos que las reformas generarán a los trabajadores formales e informales, se logró establecer que el gran



número de empleos informales en mercado laboral, disminuye el impacto que una reforma tributaria podría tener (Urzúa, 2012).

La microsimulación demográfica ha permitido modelar procesos demográficos para explorar más a fondo el curso de la vida y realizar proyecciones. Esto se logra llevando a cabo experimentos estocásticos que obedecen reglas probabilísticas predeterminadas. A cada individuo, le es asignado un conjunto de parámetros basados en características demográficas determinadas como edad, género, estado civil, etc. En este tipo de simulaciones, se toma como punto de partida un conjunto de características demográficas y otras variables de interés. Luego, el simulador actualiza esta información de acuerdo a las condiciones dadas a periodos de tiempo determinados estocásticamente e igualmente cada individuo se somete al riesgo de un conjunto de eventos como la muerte, matrimonio y migración (Zagheni, 2015). Este enfoque es usado por SOCSIM, un simulador de parentescos desarrollado en los años 70 por la Universidad de California, Berkeley. En (Zagheni, 2011), el autor explica cómo fue usado este microsimulador para estimar y proyectar el número de parientes existentes para los huérfanos. El modelo fue calibrado para Zimbabwe usando datos de encuestas demográficas. Los resultados muestran que esta disminución tiene que ver con la epidemia de VIH en la región, ya que muchos niños quedan huérfanos a muy temprana edad por la muerte de sus padres. Se mostró también que el aumento del número de huérfanos es seguido por una reducción constante en el número de abuelos vivos. En consecuencia, la responsabilidad de estos niños se transfiere a sus tíos y otros familiares. Estos cambios en la estructura parental de las familias tienen importantes consecuencias en diferentes aspectos sociales y económicos. Esta herramienta ha permitido adelantarse a estas circunstancias y procurar que el gobierno adopte medidas para reducir los efectos que estas enfermedades han tenido sobre la población en conjunto con las instituciones de salud para mitigar los contagios del virus VIH entre la población.

DEMOSIM (Canadá, 2015) es un modelo de microsimulación de similares características que SOCSIM. Desarrollado y mantenido por “Statistics Canada”, creado en el año 2004 y aún sigue en funcionamiento, DEMOSIM fue diseñado para producir proyecciones de población de provincias, territorios, censos de áreas metropolitanas y extensiones más pequeñas basada en una serie de características como los parámetros descritos en el párrafo anterior. El modelo implementa tiempos de espera para simular los riesgos o probabilidades de que le ocurra un evento a cada individuo, lo que permiten crear diversos cursos de vida para cada individuo simulado. Esta herramienta ha permitido generar proyecciones de la composición étnica y cultural del país, población aborigen y fuerza de trabajo.

### **Autómatas celulares**

Los autómatas celulares han sido utilizados con éxito en distintas disciplinas. Por ejemplo, en Física es una de las técnicas más interesantes para simular fenómenos concretos en dinámica de fluidos. En el estudio de los sistemas complejos en Biología, los autómatas celulares representan desde mediados de los 80 una seria alternativa a la modelización con ecuaciones diferenciales. En 1986 Wolfram publica la obra Teoría y Aplicación de los Autómatas Celulares, promoviendo el interés por esta técnica de modelización y simulación. A finales de los años 90 el uso de los AC abarca numerosas disciplinas, siendo de gran utilidad en el estudio de sistemas biológicos: reproducción, auto-organización, evolución, etc.

En 1970, el matemático John Conway diseñó un autómata celular denominado “El juego de la vida”, en el que las células podían estar vivas o muertas basado en una disposición de juego en el instante  $t=0$ . El juego dispone de dos reglas para determinar que sucede con las células en el siguiente instante de tiempo. Estas son: a) para que una célula siga viva, tiene que tener dos o tres vecinas, si tiene menos, muere (De soledad) y si tiene más, también muere por sobrepoblación. Y b) Si una

célula está muerta y tiene tres vecinas vivas, revive. De esta forma se generan patrones, algunos móviles y otros oscilantes, lo que realmente llamó la atención de este juego. Dado que este comportamiento no estaba especificado en sus normas, que de por sí resultan ser muy básicas.

Usando un modelo de autómatas celulares, también se logró modelar el proceso de sustitución de lenguas; es decir, una comunidad de hablantes deja de usar su lengua tradicional y comienza a hablar una nueva (Beltran & al., 2011). Dicho trabajo, también incorpora algunas suposiciones del modelo Gaelic- Arvantika de cambios de lenguaje, además de los hallazgos en la dinámica de los impactos sociales en la psicología social. Este estudio cobra importancia en la medida que la muerte de una lengua implica un empobrecimiento cultural irreversible en la diversidad cultural del mundo.

El modelo de cambios en el lenguaje supone que una comunidad tiene fluidez en al menos dos lenguas; si hay dos o más lenguas en una comunidad, se adopta una estructura jerárquica en la que una lengua se convierte en lengua dominante y las demás en lenguas subordinadas. Es posible que todas las lenguas coexistan durante un tiempo determinado, pero por eventos históricos pueden alterar esta condición. Se consideran tres fenómenos que tienen que ver con la muerte de una lengua: a) Factores económicos, culturales e históricos generan presión para abandonar la lengua en la comunidad, b) actitudes de los miembros de la comunidad hacia la lengua y c) el empobrecimiento observado de la lengua (Morfología, fonología y sintaxis). En el campo de la psicología social, Bibb Latané explica como los individuos sufren cambios de acuerdo a la influencia social del grupo al que pertenecen, producto de tres factores: a) la fortaleza del individuo, b) la proximidad entre los miembros del grupo y c) el número de miembros influyendo en el comportamiento del individuo.

De acuerdo al modelo de sustitución de lenguas propuesto en (Beltran & al., 2011), se establecen tres estados que indican el nivel de preferencia hacia la lengua subordinada:

- a) Estado 0: La persona solamente habla la lengua dominante
- b) Estado 1: La persona usualmente usa la lengua dominante, pero también habla la lengua subordinada. La persona transmite la lengua dominante a sus hijos
- c) Estado 2: La persona usualmente habla la lengua subordinada, pero también habla la lengua dominante, la persona transmite la lengua subordinada a sus hijos.

También se considera que todos usualmente saben la lengua dominante, así que un porcentaje de la comunidad es monolingüe en la lengua dominante pero no en la subordinada. Las normas de transición de estado hacen referencia al nivel de preferencia del individuo hacia una lengua basado en la sumatoria de preferencias de sus vecinos y la propia. Los resultados de la simulación estuvieron acordes al modelo Gaelic- Arvantika. Igualmente, aquellos individuos que tenían una fuerte preferencia por la lengua subordinada, provocaron una reducción en el proceso de sustitución de lenguas, en la medida que los individuos monolingües en la lengua Dominante se convirtieron en bilingües. Además, la transmisión de lenguas subordinadas a la siguiente generación aumentó dado que el número de individuos bilingües que transmitieron la lengua aumentó. Sin embargo, la preferencia débil por la lengua subordinada produjo la extinción de la lengua en sólo dos generaciones.

En síntesis, el juego de la vida de Conway fue el punto de partida para los posteriores desarrollos de autómatas celulares para modelar y demostrar el concepto de emergencia en los sistemas complejos, lo que explica como elementos simples como las células y sus interacciones pueden generar comportamientos complejos que no habían sido especificados en un principio. Y este es uno de los aspectos que más caracteriza a los Autómatas celulares: Su capacidad de lograr una serie de

propiedades que surgen de la propia dinámica local a través del paso del tiempo y no desde un inicio, aplicándose a todo el sistema en general. Por lo tanto, no es fácil analizar sus propiedades globales desde su comienzo. Su aplicación en el ámbito social ha tenido un crecimiento considerable dada su facilidad ser implementados y visualizar procesos de simulación, además de su propiedad para representar propiedades y comportamientos emergentes, que es característica de las interacciones sociales. Igualmente, para la representación del efecto de la influencia social en los individuos en sus decisiones.

### **Modelos basados en agentes**

La metodología para construir modelos basados en agentes consiste, en primer lugar, diferenciar las entidades que participan en el sistema, los agentes, luego identificar sus propiedades y finalmente, establecer las interacciones que existen entre ellas.

En un modelo desarrollado para estudiar los factores socioeconómicos y sus implicaciones a través del tiempo en la transición de la formación de familias (Sajjad & al, 2016), se aplicó un modelo basado en agentes para explorar la relación entre edad, ingresos y nivel de educación en la formación de familias y finalmente establecer si este fenómeno puede ser explicado a través de estos factores. Los resultados arrojaron que el estatus socioeconómico del individuo es el factor más importante en la formación de familias. Igualmente, se demuestra la aplicabilidad del modelo simulado para el estudio de este fenómeno en la medida que los resultados obtenidos son equiparables con los datos empíricos recogidos a través de encuestas en los mismos periodos de tiempo. Para representar la sociedad coreana, población objetivo de dicho estudio, se diseñó un modelo basado en los datos obtenidos a partir del censo 1990 con una muestra de 100.000 individuos. El censo incluye información sobre edad, parentesco, estado civil, género, niveles de educación, edad a la contrajo matrimonio (Si aplica) e ingresos mensuales. El

modelo consiste, en primer lugar, en calcular la probabilidad de que un individuo encuentre una pareja aceptable en su mismo grupo de edad, basado en la edad actual y la edad mínima para casarse (Que para efectos prácticos se estableció en 16 años), para luego calcular la probabilidad de que cada agente encuentre una pareja aceptable entre todos los agentes dispuestos a casarse. Después de haber encontrado una pareja aceptable por edad, se calculan los ingresos combinados de la pareja. Condiciones económicas no favorables provocarán que las parejas pospongan el matrimonio. Durante la simulación se asigna los ingresos para cada agente basado en su nivel de educación y en cada iteración su edad aumenta en uno, por lo tanto, el nivel de educación del agente puede modificarse de acuerdo a su “Nivel de educación deseado”, que se basa en la educación y edad actuales y edad límite (Para este modelo se estableció en 35). En general, el modelo se basa en un cálculo de probabilidades de dos aspectos: ingresos y educación, los cuales están interrelacionados.

El desarrollo de este modelo cobra importancia en la medida en que permite a los investigadores entender la complejidad del fenómeno de formación de familias y como los patrones de comportamiento varían a lo largo del tiempo.

En comparación con los modelos de microsimulación, los modelos basados en agentes permiten realizar un análisis bidireccional (El impacto de una política en las personas y viceversa), además no existe interacción entre los individuos que se modelan. Ambos modelos tienen en común que reglas incorporadas rigen el comportamiento de los agentes. Sin embargo, los modelos basados en agentes buscan simular comportamientos basados en la vida real a partir de datos empíricos. Por otro lado, en los modelos basados en agentes se identifica claramente los tipos de agentes que representan las entidades significativas del sistema, así como sus interacciones y entorno, a diferencia de los modelos basados en dinámica de sistemas en el que se limita a observar las relaciones de causa y efecto entre las variables observadas del sistema.

En resumen, los Modelos Basados en Agentes proporcionan una herramienta que contribuye al desarrollo de modelos computacionales que permite explicar cómo los agentes actúan e interactúan entre sí y con el ambiente que los rodea describiendo patrones de comportamiento y organización emergentes de un sistema. A su vez, tienen la capacidad de representar la retroalimentación que ocurren dentro del sistema y permiten evaluar como el comportamiento individual de los agentes es influenciado y se adapta por el funcionamiento del sistema.

### **Sistemas multiagente**

El proyecto EOS, llevado a cabo en la Universidad de Essex en el Reino Unido, hacia 1995 es un claro ejemplo de simulación social usando sistemas multiagente. El objetivo de este proyecto fue investigar las causas de la emergencia de complejidad social en el paleolítico superior entre hace 15000 y 30000 años, época en la que hubo un rápido crecimiento en la complejidad de las sociedades que existían en ese tiempo. Esto evidenciado por abundantes sitios arqueológicos, arte en cavernas y materiales más sofisticados. Paul Mellars propuso un modelo para tratar de explicar esta complejidad. El principio al que obedecía este modelo era la cantidad y diversidad de los recursos alimenticios y una concentración predecible y estable de los mismos. Para investigar este modelo, se desarrolló una plataforma multiagente que permite a los agentes ser programados como sistemas basados en reglas. Cada agente está dotado de una representación simbólica de su entorno, sus creencias (En el modelo BDI). Las creencias se componen principalmente de las creencias de otros agentes (modelo social) y las creencias sobre los recursos en el entorno (modelo de recursos). Para actualizar sus creencias, un agente dispone de un conjunto de reglas de conocimiento que mapea las creencias antiguas con las nuevas. Para decidir qué acción va a realizar, los agentes tienen reglas de acción que mapean las creencias a acciones. (Wooldridge, 2002)

Los agentes en el modelo habitan un entorno simulado de 10000 X 10000 celdas. Cada agente ocupa una sola celda y se ubica hay un nivel de hambre. Si un nivel de acumulación asociado a un nivel de hambre cae por debajo de un valor establecido, el agente tratará entonces contrarrestar esta baja consumiendo los alimentos apropiados. Los agentes viajan por todo el entorno obteniendo recursos que están dispersos. El modelo de Mellars que sugiere que la disponibilidad de los recursos en tiempos y lugares predecibles fue un factor clave en el crecimiento de la complejidad social en el periodo paleolítico.

La forma más básica de estructura social que emerge en el modelo se da por que ciertos recursos tienen asignados un perfil que define la habilidad que los agentes deben tener para obtener el recurso, de esta forma, demostrando como los intereses de cada uno de los agentes pueden tener gran impacto en el rumbo de la sociedad. Es interesante ver observar los fenómenos sociales que surgen al correr esta simulación:

- Superpoblación: Cuando muchos agentes intentan obtener recursos de una misma ubicación
- Interferencia: Cuando un agente afecta los objetivos de otro.
- Surgimiento de grupos semi-permanentes: Cuando los agentes se agrupan para obtener un recurso que requiere ciertas habilidades.

El análisis de la demanda eléctrica es una de las aplicaciones más recientes de los sistemas multiagente y ha permitido determinar en qué momento y lugar se dará este crecimiento para la operación y planificación de la expansión de las redes eléctricas. El modelo desarrollado por (Melo, Carreno, Manuel, & Padilha-Feltrin, 2012) considera que la nueva demanda que se agrega al sistema es la combinación de dos factores: El crecimiento natural de la ciudad (Nacimientos y migración) y un crecimiento considerado no natural, en el que nuevos clientes son atraídos por el desarrollo de nuevos proyectos de infraestructura (Centros comerciales, autopistas) que atraerá nuevas demandas o repelará algunas ya existentes. El crecimiento natural aumenta a su vez la demanda energética en el Centro de Actividades de la



ciudad, definido como la zona con mayor concentración de oferta de servicios requeridos por los individuos (ropa, comida o entretenimiento). Desde este punto de vista, la demanda en una ciudad variará de acuerdo a la región obedeciendo a la dinámica de crecimiento de la misma, afectando siempre el centro de actividades.

Se desarrolló un enfoque de sistemas multiagente para estudiar la dinámica de crecimiento de los centros urbanos. Para analizar esta dinámica, la ciudad se divide en una cuadrícula regular. Cada parte de esta cuadrícula representa un agente que puede interactuar con los agentes vecinos así como los agentes móviles que representan el crecimiento esperado en el centro de actividades y agentes proactivos que representan nuevas demandas a causa de nuevos proyectos de infraestructura. El crecimiento de la demanda es entonces representado a través de la interacción entre los agentes móviles y estáticos y a función de los agentes proactivos es cambiar las características de los agentes estáticos cuando una nueva perturbación se da en el sistema, aumentando o disminuyendo la habilidad de un agente de recibir nuevas demandas. Se considera también que cada agente estático tiene una probabilidad de desarrollo que representa qué tan probable es que este agente reciba una mayor demanda y se calcula a través de métodos de minería de datos sobre uso de suelos de las zonas. Cada vez que el agente móvil interactúa con uno estático este le deja una fracción de la demanda esperada, incrementando así la demanda en el agente estático. Ahora bien, basándose en los estudios previos, es posible estimar la demanda no natural y como se propagará, esta demanda se asignará entonces al agente proactivo. Se representa a través de ondas cuyo origen es el agente proactivo y se propagará por los agentes estáticos cercanos. Esta nueva demanda tendrá un factor de repulsión o de atracción en los agentes estáticos que determinará si esta nueva demanda es adoptada o no.

Una comparación realizada entre los datos históricos reales con los resultados obtenidos en un experimento utilizando este modelo, demuestra la validez del enfoque adoptado. La demanda de energética de cada zona obedece a fenómenos de dinámica social que pueden ser representados a través de modelos basados en

sistemas multiagente dada la complejidad y heterogeneidad del fenómeno. Como es el caso de este modelo en el que es difícil predecir la dinámica poblacional en cuanto a migraciones, que supone un aumento en la demanda de una zona y disminución en otra o el efecto que tendrá un proyecto de infraestructura en todas las zonas aledañas que está muy relacionado con el concepto de influencia social que explica de qué manera los comportamientos de un individuos son afectados por otros individuos.

En general, el enfoque de modelos basados en sistemas multiagente permite modelar de manera muy precisa el comportamiento de comunidades humanas, en la medida que implementan la percepción del entorno, cómo la percepción de cada individuo es afectada por los demás y la toma de decisiones basado en esta percepción reflejada en acciones que el agente lleva a cabo. Igualmente, comportamientos sociales como cooperación, negociación y coordinación que son propios de todas las sociedades humanas, se pueden representar a través de este enfoque. Es posible que su uso no se haya extendido tan ampliamente como otros enfoques ya explorados anteriormente en este trabajo dada la complejidad que supone la implementación de este tipo de modelos; no solo exige el conocimiento del modelo de comportamiento o fundamento teórico sobre el comportamiento social de los humanos o sobre un fenómeno en particular, sino que también se debe conocer las herramientas de desarrollo utilizadas para su implementación.

### **Aprendizaje de maquina**

En (Bayzid, Iqbal, & al, 2008) los autores han escogido el problema de toma de decisiones de ubicación de nuevas sucursales de organizaciones de microcrédito con aspectos únicos en el contexto de países del tercer mundo haciendo uso de una red neuronal basada en el perceptrón multicapa como herramienta computacional.

El proceso de diseño de la red neuronal comienza con el análisis de las entradas para encontrar atributos importantes para el dominio del problema, luego se escogió la estructura de red neuronal más apropiada para el problema de forma empírica

probando cual enfoque proporcionaba menores tiempos de entrenamiento para obtener un error cuadrático medio aceptable (Función de riesgo que mide la precisión de la estimación). Finalmente se entrenó y validó la red. Dado que no se disponía de un set de datos para dicho fin, se generaron los datos a través de un programa escrito en C. Se comenzó entrenando la red con los datos de entrenamiento generados y se simuló la red entrenada con los datos de validación revisando el nivel de precisión. Si no se llegaba al nivel establecido, se volvía a entrenar la red con un número de neuronas modificado.

El objetivo es escoger un lugar entre otros, para establecer una organización de microcrédito, que en los últimos años se ha convertido en una herramienta para combatir la pobreza y empoderar la economía, para maximizar el impacto positivo en las comunidades aledañas.

Se establecieron entonces los factores que habría de tenerse en cuenta para la toma de la decisión sobre donde ubicar el nuevo establecimiento: Población objetivo (Mayor a cien mil habitantes), tendencia al emprendimiento (sociedades con pequeños problemas de deudas pero con cultura del emprendimiento fuerte, son ambientes más propicios para recurrir al microcrédito), disponibilidad de infraestructura (servicio de electricidad, y la presencia de otras instituciones financieras aumentan la transferencia de dinero), tasa de desempleo (La pobreza extrema obliga a las personas a adquirir un crédito y dadas estas condiciones, el crédito puede ser nunca recuperado), ingreso per capita (el préstamo en áreas extremadamente pobres puede ser catastrófico para las instituciones por la poca capacidad de pago que los habitantes de estas áreas tendrían), desastres naturales (Los individuos localizados en áreas que suponen un peligro de desastre natural, pueden fallar al pagar sus deudas) y distancia al centro de salud más cercano (Mejor salud incrementa la productividad de la población). Cada uno de estos factores es evaluado para cada una de las áreas que se desea estudiar y le es asignado un puntaje de acuerdo a las características encontradas. Estos puntajes son las entradas de la red neuronal. En el proceso de entrenamiento se ajustarán los

pesos de sus conexiones sinápticas basándose en los factores anteriormente descritos para determinar la viabilidad el nuevo establecimiento. Los set de datos tienen etiquetada la viabilidad real encontrada por expertos con el fin de calcular el error promedio en las estimaciones para determinar tanto la eficacia de la red neuronal implementada como el nivel de aprendizaje alcanzado por la red. En el proceso de validación se comprobará que la salida de la red coincida con la establecida por los expertos.

El enfoque anteriormente descrito, puede ser aplicado a otros ámbitos en los que las condiciones del problema se formulen en términos de factores que tienen un efecto sobre la viabilidad de un fenómeno. Se puede proponer disponer de una cantidad mayor de factores para obtener una mayor aproximación a la realidad e igualmente realizar una recopilación de información real sobre las condiciones sociales y demográficas de las poblaciones que se deseen estudiar.

## **5. ESTADO DEL ARTE EN COLOMBIA**

En este capítulo se realizará una breve descripción de los hallazgos más recientes en sociología computacional en Colombia.

### **a. DISEÑO DE UNA SOCIEDAD ARTIFICIAL PARA ESTUDIAR LA MIGRACION FORZADA POR CONFLICTO ARMADO INTERNO EN EL SUROCCIDENTE COLOMBIANO**

A través de un modelo computacional basado en características sociodemográficas se pudo determinar la influencia de las víctimas del desplazamiento forzado en la dinámica poblacional de las ciudades receptoras. Como parte de su proyecto de investigación doctoral, Rafael Rentería Ramos, docente de la universidad tecnológica de Pereira, desarrolló un modelo para estudiar cómo se ha venido distribuyendo la población desplazada en las ciudades con el fin de crear planes de contingencia y generar una mejor reparación (Rentería & Soto, 2015).

El modelo implementa una sociedad artificial que incorpora elementos de la técnica de colonia de hormigas que permitió encontrar los barrios que la población desplazada prefiere una vez arriban desde un expulsor específico, así como las zonas de convergencia y distribución de los desplazados al interior del municipio de Santiago de Cali en Colombia.

El modelo implementa un esquema BDI que describe la estructura comportamental de un individuo desplazado:

- Memoria migratoria: El migrante preferirá un lugar con antecedentes positivos para minimizar los riesgos y costos asociados con el restablecimiento en otra ubicación.
- Condiciones sociodemográficas: Los migrantes preferirán un lugar con condiciones sociodemográficas a las de su lugar de origen.
- Influencia social: Persuasión y convencimiento por parte de familiares y amigos que luego facilita estructuras de cooperación

En la simulación se utilizaron tres ciudades expulsoras más importantes que escogen como destino el municipio de Santiago de Cali: Buenaventura, Tumaco y Santiago de Cali (Desplazamiento de un barrio a otro). Del análisis realizado, se destaca la incidencia que tienen la memoria migratoria, las condiciones sociodemográficas y la influencia social sobre la generación de atracción desde un punto hacia el interior de la ciudad, lo que permite determinar las características endógenas de las comunidades que se forman al interior de los barrios y así mismo, generar iniciativas para la atención pertinente a los desplazados.

El trabajo concluyó que las redes de migración establecidas por las víctimas desplazadas, se convierten en un instrumento de aplicación directa para la toma de decisiones sobre el lugar donde dichos individuos se establecerán. Esto, como consecuencia de la emergencia de un comportamiento global en esta sociedad.

#### **b. DISEÑO DE UN MODELO BASADO EN AGENTES PARA ESTUDIAR EL IMPACTO DE LA COHESION SOCIAL Y LA VICTIMIZACIÓN EN EL COMPORTAMIENTO DE UN CRIMINAL**

El trabajo desarrollado en (Rentería & Soto, 2014) permitió estudiar la incidencia de la cohesión social y la victimización en el comportamiento de los actores criminales a través de un modelo basado en agentes. Dicho modelo se desarrolló basado en el enfoque de comportamiento humano PECS (Physis, emotion, cognitive social) que permite modelar diferentes conocimientos, percepciones y motivaciones, característicos del comportamiento humano. A través del estudio de redes sociales, se estudiaron las interacciones sociales que la cohesión social construye al interior de las comunidades, de acuerdo a la agudización de la victimización

La cohesión social puede definirse como el grado de consenso de los miembros de una comunidad o grupo social o la medida de interacción social entre los miembros del grupo.

El modelo diseñado presenta dos algoritmos para integrar las estructuras de red social y modelo PECS. El primero es el algoritmo de victimización, mediante el cual el criminal decide cometer un delito. Para que el agente criminal genere victimización, en primer lugar, se verifica si el agente está motivado por cometer un delito a través de una variable denominada “Estado” que toma los valores de pausa (Cuando el criminal recién cometió un delito y no está motivado para cometer otro) o crimen (Cuando está dispuesto a hacerlo). Una vez en el estado crimen, el agente analiza la cohesión social al interior del lugar donde se encuentra, basado en el coeficiente de clúster o agrupamiento, que determina cuan agrupados están los miembros de la comunidad, y la memoria de victimización que representa la acumulación de los eventos de victimización pasados.

Cuando los valores de la victimización y cohesión social no cumplen con los umbrales previamente establecidos, el agente se tendrá que desplazar a otro lugar, de lo contrario, el agente genera una víctima. Si un agente se debe desplazar, generalmente lo hará a lugares que ya haya visitado. Sin embargo, antes de hacerlo, el agente evalúa el índice de cohesión social esperado del sitio destino. Entre más bajo sea este valor, mayor será la atracción hacia este lugar. Igualmente evalúa el índice de cohesión esperado. Este valor toma importancia si existe un grado de victimización alto. Cuando el agente detecta que los lugares vecinos no tienen un balance entre grado de victimización y cohesión social, el agente analiza los lugares en donde se encuentran otros agentes de su mismo grupo. Si las condiciones no son favorables, el agente escoge un nuevo lugar de forma aleatoria.

De la simulación del modelo se pudo concluir que para un criminal cobra mayor relevancia la percepción de la cohesión social que eventos de victimización pasados para seleccionar su objetivo, evidenciado por las simulaciones llevadas a cabo en las que los agentes mostraban comportamientos que no habían sido influenciados por vecinos u otros agentes y tampoco se había tenido en cuenta el nivel de victimización.

Este estudio, como lo manifiestan los autores, puede ser tenido en cuenta para diseñar estrategias preventivas para reducir la criminalidad que consideren el nivel de cohesión

social y memoria de victimización en las diferentes ubicaciones geográficas del territorio nacional.

### **c. MSIN: MODELO DE SIMULACION SOCIAL BASADA EN AGENTES**

Como su trabajo de grado para obtener el título de maestría, Ronald Angel Marín, en conjunto con el programa social de la universidad Pontificia Javeriana PROSOFI, desarrolló un modelo de simulación social basado en agentes contextualizado al territorio colombiano (Marin, 2012). La construcción de este modelo de simulación social basado en agentes, tiene un efecto positivo en la planificación de trabajos sociales con gran impacto en la sociedad. MSIN implementa un mecanismo de decisiones que utiliza un framework BDI (Deseos, creencias e intenciones). Este framework hace uso de un proceso de definición de metas sobre los agentes a través de mecanismos de inteligencia artificial para construir agentes con comportamientos sociales similares a los de los humanos.

Se definió una lista de problemáticas sociales sobre las que trabaja el modelo: Aseguramiento de la convivencia, educación, cultura, recursos básicos vitales y salud, cuidado del medio ambiente, generación de capital, gobierno y regulación social y aseguramiento de la infraestructura. Igualmente, se caracterizaron las entidades sociales que representan las organizaciones presentes en la comunidad:

- Promotoras: Entidades que representan entidades externas que exponen una oportunidad, basándose en los servicios de bienestar de la comunidad.
- Modificadora de ambiente: Afecta el comportamiento de otras entidades modificando las características del ambiente.
- Territoriales: Entidades cuyas acciones generan una respuesta general para el territorio sobre el cual generan estímulos.



- Organizaciones sociales comunitarias: Entidades orientadas a las uniones culturales y artísticas. Pueden representar desde entidades para cuidar el medio ambiente hasta culturas que no lo cuiden.
- Barrio: Entidad que representa y tiene información sobre la unión de diferentes cuadras que se unen en conjunto geográfico más amplio.
- Cuadra: Representa la unión de familias en un espacio geográfico
- Receptora: Representa la unión de personas de una familia o entidades individuales que representan personas.

También se identificaron otras entidades que facilitan las interacciones entre las anteriormente descritas y de ellas con el medio ambiente:

- Mundo: Encargada de comunicar el estado del ambiente a los demás agentes.
- Canal: Funciona como un comunicador de promociones provenientes de las entidades promotoras para el resto de entidades.

Las interacciones internas en las entidades sociales utilizan el concepto de tejido social, que se define como el conjunto de relaciones sociales que dan cohesión a un grupo social. Cada entidad posee variables de tejido social que representan su capacidad grupal de influenciar el comportamiento de los miembros del grupo. Las interacciones sociales comienzan en el momento en que una entidad promotora expone una promoción relacionada con las problemáticas sociales enumeradas anteriormente. Se simula entonces el proceso de liderazgo en la medida que unos agentes poseen mayor influencia que los demás.

El modelo se compone, además de un modelo de interacción, de uno de toma de decisiones enfocado en el modelo sociológico BDI, de esta forma se logra un proceso con características de una teoría sociológica formal que simula el comportamiento de humanos reales. Las metas del agente en el modelo de toma de decisiones poseen un plan de acción que está ligado al concepto de rol. Los roles se definen a partir de las habilidades del agente y de las metas que debe cumplir a través de la ejecución del plan de acción. Para definir cuales metas se convierten en

intenciones, se dispone de un mecanismo de competencia, que en primer lugar, clasifica las metas según su nivel de importancia en cinco tipos: Supervivencia; aquellas metas enfocadas a la subsistencia del agente; obligación, representan obligaciones repentinas de importancia alta que el agente debe cumplir; oportunidad, representan oportunidades de crecimiento para el agente; requerimientos, metas que el agente debe cumplir para lograr ejecutar actividades en otras metas y necesidad, que permiten orientar las acciones del agente hacia el cumplimiento de los objetivos generales. También se considera el modelo del mundo y las creencias que el agente posee para el proceso de toma de decisiones.

Para responder ante eventos generados en el ambiente, se utilizan tres procesos principales que se resumen así: Controlador de la información sensorial, evaluador de metas para determinar cuales se convertirán en intenciones y generador de plan de acción para cada agente.

Los modelos de interacciones sociales y de toma de decisiones confluyen en MSIN, solucionando algunas desventajas que se habían encontrado en otros modelos de simulación social, que entre otros se pueden enumerar: El grado de complejidad que supone el desarrollo de modelos sociales y organizaciones complejas, la poca concordancia del modelo con el contexto colombiano en particular, las limitaciones en la simulación de comportamientos humanos reales y sus interacciones y finalmente la utilización de metodologías de inteligencia artificial evitan la generalización y proporcionan adaptabilidad del modelo a comunidades específicas.

MSIN hace uso de la plataforma BESA (Pontificia Universidad Javeriana, 2014), desarrollada en la Pontificia Universidad Javeriana que implementa las características principales de la filosofía de agentes racionales, desarrollado en modelo reutilizable tipo framework.

En general, el objetivo principal del modelo desarrollado es permitir a expertos en ingeniería y ciencias sociales ejecutar simulaciones que muestren como resultado la

respuesta de una comunidad ante estímulos de entidades externas. Este comportamiento, se representó mediante la aparición de diferentes eventos internos y externos definidos por un mecanismo de toma de decisiones inteligente que incorpora conceptos de teorías sociológicas y componentes del modelo BDI.

#### **d. EVALUACIÓN DINÁMICA DEL EFECTO DE LAS PANDILLAS EN LA PERCEPCIÓN DE SEGURIDAD DE UNA CIUDAD**

El trabajo de (Rodriguez, Ramirez, & Osorio, 2014) realiza una aproximación para el entendimiento del fenómeno pandillero haciendo uso de dinámica de sistemas. El trabajo analiza las variables que más inciden en las actividades de las pandillas que afecta la percepción de seguridad de una ciudad. Igualmente, permite establecer las relaciones que hay entre ellas para comprender los elementos que incrementan o reducen los problemas observados. La problemática se estudia a través de varios tipos de variables que resulta importante estudiar para comprender el comportamiento de las pandillas y sus actividades que serán evaluadas a través del modelo de dinámica de sistemas. En primer lugar, se estableció que el beneficio económico tiene su origen en las ganancias que dejan los “delitos”. Para este estudio, los delitos son representados como la cantidad de hurtos a personas y la microextorsión (Actividad criminal en la que se exige constantemente pequeñas cantidades de dinero a cualquier persona). La actividad de mayor preocupación social es el tráfico o “Venta de droga” que contribuye al círculo creciente de ingresos de las pandillas. El consumo de droga no solo está afectado por delincuentes sino que también está determinado por componentes externos denominados “Otros consumidores”. Los “expendios de droga” también tienen un efecto en el número de delincuentes y pandillas así como el fenómeno de control territorial para esta actividad, que es responsable de múltiples “homicidios”. Este factor, en combinación con el aumento de víctimas, como consecuencia de las actividades de las pandillas, constituye lo que se denomina la “Percepción de seguridad”. Esta variable mide la apreciación de las personas respecto a la situación de la zona que habitan, que mostrará si ha aumentado, se ha mantenido o disminuido el nivel de seguridad.

Desde el punto de vista del principio del problema, se deben tener en cuenta, para el modelo, las condiciones que propician la formación de grupos delincuenciales: “Ambiente social” que expresa el entorno familiar donde los jóvenes nacen y crecen, la “Exclusión social” que indica la falta de oportunidades que tienen las personas que viven en condiciones socioeconómicas poco favorables y la “Oferta de consumo” que significa la necesidad de compra que ha venido experimentando la sociedad en los últimos años, explicada a través del consumismo. Lo que ha provocado que los jóvenes que no tienen suficiente capacidad económica recurran a actividades ilícitas para conseguir los últimos dispositivos electrónicos, por ejemplo.

Finalmente, se establece un modelo de intervención del estado, cuyo objetivo es reducir la tendencia del problema sobre las pandillas. Dicha disminución se comienza a manifestar cuando la sociedad percibe la disminución de seguridad en su territorio, y comienza a hacer denuncias que obligan al gobierno a tomar medidas para la mitigación de los problemas, aumentando el presupuesto en “Seguridad” que será invertido a través de políticas públicas para aumentar el número de agentes policiales presentes en el lugar para llevar a cabo operativos y dismantelar las bandas delincuenciales a través de allanamientos periódicos.

La problemática relacionada con las pandillas cobra gran importancia para la elaboración de políticas públicas y estrategias efectivas orientadas a la prevención de sus causas que ya han sido bien identificadas. El modelo aquí presentado permite establecer las relaciones de causa y efecto entre todos los aspectos que tienen participación en la percepción de seguridad de un lugar.

#### **e. MICROSIMULACIONES PARA EL ESTUDIO DE FLUJOS PEATONALES**

La empresa española Steer Davies Gleave ha venido brindando asesoría desde el año 2015 a entidades en Colombia en proyectos de desarrollo urbano, a través de

técnicas de análisis de flujos de personas y de capacidad de infraestructura, desarrollando modelos de microsimulación para reflejar el comportamiento de las personas de una manera realista. Dichos análisis se han llevado a cabo con el fin de optimizar las inversiones en materia de movilidad en ciudades como Bogotá y Medellín que han demostrado la necesidad de implementación sistemas alternativos de transporte. La empresa desarrolló un estudio de demanda de las 27 estaciones de metro previstas para el nuevo sistema de transporte en la ciudad de Bogotá. Mediante modelos de microsimulación peatonales, se pudieron evidenciar posibles mejoras al diseño formulando las condiciones de distribución más convenientes para la movilidad de las estaciones. Por otro lado, la empresa brindó asesoría para identificar condiciones estimadas de desempeño y nivel de confort para los usuarios del Tranvía de la ciudad de Medellín, proporcionando recomendaciones sobre el manejo operativo de los flujos peatonales esperados tanto al interior como al exterior de las estaciones (Steer Davis Gleave, 2015)

## **6. OBSERVACIONES FINALES**

La sociología computacional es una disciplina que podría ser explotada en mayor medida en el ámbito latinoamericano y en particular en Colombia. Consultando bases de datos electrónicas internacionales como es el caso de IEEE y Science direct, se evidenció la poca presencia que autores colombianos y latinoamericanos tienen en temas relacionados con la solución de problemáticas sociales haciendo uso de herramientas informáticas. La documentación sobre los desarrollos realizados en esta disciplina en el territorio colombiano en particular, no se encuentra estructurada lo que supuso una dificultad en el momento de consultar los desarrollos más recientes en el territorio nacional.

Este documento pretendió también incitar sobre la aplicación de la sociología computacional en problemáticas sociales diversas como se ha venido realizando a nivel internacional, como es el caso de la evaluación y validación de políticas públicas y el ámbito económico que ha mostrado ser una herramienta efectiva para este tipo de estudios. Los trabajos encontrados sobre problemáticas en el territorio Colombiano son acordes con la realidad actual del país y supone una herramienta muy poderosa para simular comunidades artificiales con características muy similares a las humanas. Como es el caso de MSIN que puede considerarse como fuente de inspiración para trabajos futuros con relación a la forma en la que los individuos se comportan y toman decisiones. De igual manera el uso de herramientas computacionales se puede extender a estudios económicos y políticos en el territorio nacional, que ha sido un terreno poco explorado hasta el momento. La aplicación de estas herramientas informáticas en estas ciencias sociales podría proporcionar un fundamento con solidez para la elaboración de políticas tributarias, por ejemplo, que garanticen la sostenibilidad del modelo económico del país sin afectar en gran medida a los consumidores.

Cabe resaltar los adelantos en cuanto al estudio de movimientos poblacionales en Colombia utilizando técnicas de sociología computacional, resultando ser una herramienta muy poderosa para la toma de decisiones por parte del gobierno para atender de manera

oportuna requerimientos de poblaciones desplazadas, identificar poblaciones en peligro y minimizar los efectos sobre las comunidades receptoras.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Absalón, C., & M, U. C. (2012). Modelos de microsimulación para el análisis de las políticas públicas. *Gestión y política publica*, 87-106.
- Antequera, J. (2004). *Secretaría de Gobernación - Unidad general de asuntos jurídicos*. Obtenido de Las propiedades emergentes de los sistemas complejos:  
<http://www.ordenjuridico.gob.mx/Publicaciones/CDs2010/CDMetropolitano/pdf/DOC01.pdf>
- Bayzid, S., Iqbal, A., & al, e. (2008). Application of artificial Neural Network in social computing in the context of third world contries. *5th international conference on Electrical and computing ingeneering*, (págs. 648-653). Dhaka.
- Beltran, F., & al., e. (2011). Social Simulation Based on Cellular Automata: Modeling Language shifts. En A. Salcido, *Cellular Automata - Simplicity Behind Complexity* (págs. 323-337). InTech.
- Bishop, C. M. (1995). *Neural Networks for pattern recognition*. Birmingham: Clarendon Press - Oxford.
- Brailsford, S., Evandrou, M., Luff, R., & al, e. (2012). Using system Dynamics to model social care system. *Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC)* , 1-12.
- Canadá, G. d. (07 de 10 de 2015). *Statistics Canada*. Obtenido de  
<http://www.statcan.gc.ca/eng/microsimulation/demosim/demosim>
- Conte, R., Gilbert, N., & Sichman, J. (1998). MAS and Social Simulation: A Suitable Commitment. *Second International Workshop*.
- Doran, J. (1997). Foreknowledge in artifial societies. *SIMulating social phenomena*, 457-.
- Ferber, J. (1999). *Multi-Agent Systems: An Introduction to Artificial Intelligence*. Addison-Wesley.
- Forrester, J. (1968). Market growth as influenced by capital investment. *Industrial Management review*.
- Forrester, J. (1970). Urban dynamics. *Industrial Management review*, 67-.



- Georgeff, M., Pell, B., Pollack, M., Tambe, M., & Wooldridge, M. (2003). The Belief-Desire-Intention Model of Agency. En *Intelligent Agents V*. Springer.
- Gilbert, N., & Troitzsch, K. G. (2005). *Simulation for the social scientist*. New York, New York, Estados Unidos .
- Heckbert, S., Baynes, T., & Reeson, A. (2010). Agent-based modeling in ecological economics. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 39-53.
- Lorenz, E. N. (1995). *La esencia del caos*. Barcelona: DEBATE.
- Lozares, C. (2004). La simulación social. Una nueva manera de investigar en lo social. *Universitat Autònoma de Barcelona. Departament de Sociologia*, 165-188.
- Macal, C., & North, M. (2008). Agent based models an simulations. *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*, 101-112.
- Macy, M. W., & Willer, R. (2002). *From Factors to actors: Computational Sociology and Agent based modeling*. Ithaca , New York: Annual review of Sociology.
- Marin, R. A. (2012). *Msin: Modelo de simulación social basada en agentes con un enfoque inteligente*. Bogotá.
- Melo, J., Carreno, Manuel, E., & Padilha-Feltrin, A. (2012). Multi-Agent Simulation of Urban Social Dynamics for Spatial Load Forecasting. *IEEE Transactions on power systems*, 2012.
- Miramontes, O., & al., e. (1999). *Perpectivas en las teorías de sistemas*. Ciudad de Mexico: Universidad Nacional Autónoma de Mexico.
- Pallares Danti, C. (21 de 11 de 2012). *Psicotip*. Obtenido de <https://psicotip.wordpress.com/2012/11/21/la-influencia-social/>
- Parker, D., Manson, S., Jannsen, M., Matthew, H., Deadman, & Peter. (2003). Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: A review. *Annals of the association of american geographers*, 314-337.
- Pontificia Universidad Javeriana. (2014). *Desarrollo de aplicaciones basadas en Sistemas Multiagente*.

- Rentería, R. R., & Soto, J. A. (2014). Diseño de un modelo basado en agentes para estudiar el impacto de la cohesión social y victimización en el comportamiento de un criminal. *DYNA* 81 (184), 1-9.
- Rentería, R. R., & Soto, J. A. (2015). Diseño de una sociedad artificial para estudiar la migración forzada por conflicto armado interno en el suroccidente Colombiano. *Proximo a publicar*.
- Reyes, D. A. (2011). Descripción y aplicaciones de los autómatas celulares.
- Richardson, G. P. (2011). Foundations of System Dynamics. *System Dynamics Review*, 219-243.
- Richeri, G. (s.f.). *Complejidad social e información*. Obtenido de Revista Iberoamericana de comunicación: [http://www.infoamerica.org/documentos\\_pdf/richeri01.pdf](http://www.infoamerica.org/documentos_pdf/richeri01.pdf)
- Ritzer, G. (1997). *Teoría sociológica contemporánea*. Madrid: Mc Graw Hill .
- Rodriguez, D., Ramirez, G. S., & Osorio, J. C. (2014). Evaluación dinámica del efecto de las pandilas en la percepción de seguridad de una ciudad. *XII Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas*. Bogotá.
- Sajjad, M., & al, e. (2016). A Data-Driven Approach for Agent-Based Modeling: Simulating the Dynamics of Family Formation. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*.
- Sanchez, N. (2015). Máquinas de soporte vectorial y redes neuronales artificiales en la predicción del movimiento USD/COP spot intradiario. *ODEON*.
- Schmitz, R. (2001). Use of chaotic dynamical systems in cryptography. *Journal of the Franklin institute*, 429–441.
- Steer Davis Gleave. (5 de 10 de 2015). *Micro-Simulacion de peatones en la planeacion de proyectos y grandes eventos*. Obtenido de Steer Davis Gleave: <http://la.steerdaviesgleave.com/news-and-insights/Micro-simulacion-de-peatones-en-la-planeacion-de-proyectos-y>
- Sugiyama, M., & Motoaki, K. (2012). *Machine Learning in Non-stationary Environments: Introduction to Covariate Shift Adaptation*. MIT Press.
- Sutherland, H. (2012). A short introduction to microsimulation. *Microsimulation for Policymaking in Times of Crisis*. Bruselas.

Urban, C., & Schmidt, B. (2001). PECS – Agent-Based Modelling of Human Behaviour. *AAAI Technical Report* .

Urzúa, C. M. (2012). *Micro Simulation models for Latin America*. Mexico D.F: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

Wooldridge, M. (2002). *An Introduction to multiagent systems*. Chichester, Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd .

Zagheni, E. (2011). The impact of the HIV/AIDS Epidemic on Kinship resources for orphans in Zimbabwe. *Population and development review*, 761-783.

Zagheni, E. (2015). Microsimulation in Demographic research. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences (Second Edition)*, 343-346.